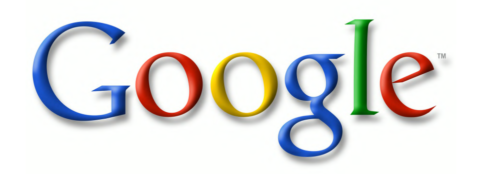
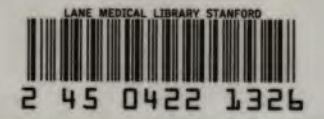




ZUR ERKLÄRUNG

DER

FARBENBLINDHEIT

AUS DER

THEORIE DER GEGENFARBEN.

VON

EWALD HERING,
PROF. DER PHYSIOLOGIE IN PRAG.

SONDERABDRUCK AUS DEM JAHRBUCH FÜR NATURWISSENSCHAFT „LOTOS".
NEUE FOLGE. I. BAND.

PRAG 1880.
VERLAG VON F. TEMPSKY.

ZUR ERKLÄRUNG

DER

FARBENBLINDHEIT

AUS DER

THEORIE DER GEGENFARBEN.

VON

EWALD HERING,
PROF. DER PHYSIOLOGIE IN PRAG.

SONDERABDRUCK AUS DEM JAHRBUCH FÜR NATURWISSENSCHAFT „LOTOS".

NEUE FOLGE. I. BAND.

PRAG 1880.
VERLAG VON F. TEMPSKY.

I. Theoretische Vorbemerkungen.

§. 1. *Einige Sätze aus der Theorie der Gegenfarben.*

Jede Gesichtsempfindung oder Farbe tritt zwar zunächst als etwas Einheitliches in unser Bewusstsein, lässt sich aber mehr oder weniger deutlich in einzelne Bestandtheile auflösen und als ein Gemisch oder als Ergebniss einer Mischung mehrerer einfacher Empfindungen ansehen. In analoger Weise erscheint ein Klang aus mehreren Tönen, ein Akkord aus mehreren Klängen, der Geschmack einer Speise aus verschiedenen Geschmacks-, Geruchs- und Tastempfindungen zusammengesetzt, die zum Theil deutlich aus der Gesammtempfindung hervortreten, zum Theil aber auch schwer oder gar nicht sich einzeln herausfinden lassen.

Nach meiner Auffassung gibt es sechs einfache Gesichtsempfindungen, aus deren Zusammensetzung in den verschiedensten Verhältnissen alle wirklich vorkommenden Farben oder Gesichtsempfindungen entstehen, nämlich Schwarz, Weiss, Gelb, Blau, Roth und Grün. Schwarz und Weiss geben, in verschiedenen Verhältnissen gemischt, alle Uebergangsstufen vom reinsten Weiss bis zum reinsten Schwarz, d. h. die Reihe der farblosen oder schwarz-weissen Gesichtsempfindungen. Die Helligkeit einer solchen farblosen Gesichtsempfindung hängt lediglich von dem Verhältniss des darin enthaltenen Weiss zum Schwarz ab, oder von der Deutlichkeit, mit welcher das Weiss aus dem Gemische hervortritt. Der Farbenton einer farbigen Empfindung, sofern diese nicht einer der vier Grundfarben Roth, Grün, Gelb und Blau entspricht, ist bedingt durch das Verhältniss der Deutlichkeit, in welchem zwei dieser Grundfarben darin zu einander stehen. Mehr als zwei von den vier Grundfarben sind in keinem Farbentone erkennbar; nie ist zugleich Roth und Grün, oder zugleich Gelb und Blau deutlich darin ent-

halten. Zwei solche Farben, die niemals beide zugleich in einer Gesichtsempfindung deutlich sind, nenne ich *Gegenfarben.*

Jede wirklich vorkommende farbige Gesichtsempfindung enthält immer zugleich mehr oder weniger deutliches Weiss, Schwarz oder Grau, kurz überhaupt farblose Empfindung. Die mit deutlichem Weiss versetzten farbigen Empfindungen nennt man weisslich oder hellfarbig, die mit deutlichem Schwarz versetzten schwärzlich oder dunkelfarbig, die mit deutlichem, mehr oder weniger hellen oder dunklen Grau versetzten graufarbig oder schmutzig. Unter *Sättigung* verstehe ich den Grad der Reinheit oder Deutlichkeit, mit welcher die eigentliche Farbe aus der Gesammtempfindung hervortritt. Die mehr oder minder deutliche Vermischung der Farben mit farbloser Gesichtsempfindung nenne ich *Nuancirung* und unterscheide schwärzliche, graue und weissliche Nuancen. Die Sättigung einer farbigen Empfindung hängt ab von dem Verhältniss der darin enthaltenen einfachen oder aus zwei Grundfarben zusammengesetzten farbigen Empfindung zur gleichzeitig in der Gesammtempfindung enthaltenen farblosen Empfindung.

In der psychophysischen Substanz, an deren Zustände die Gesichtsempfindungen geknüpft sind, und welche ich die *Sehsubstanz* nenne, unterscheide ich sechs qualitativ verschiedene Processe, welche den sechs einfachen oder Grundempfindungen entsprechen.

Demgemäss spreche ich von einem weissen, schwarzen, gelben etc. psychophysischen Processe. Die Natur dieser Processe ist unbekannt; aber indem sich an jeden derselben die entsprechende Empfindung knüpft, belehrt uns die letztere über das Dasein und die relative Stärke der ersteren. Da alle sechs Processe fortwährend gleichzeitig, wenn auch mit sehr verschiedener Stärke in der Sehsubstanz stattfinden, so sind auch immer alle sechs Grundempfindungen gleichzeitig gegeben. Jede Gesichtsempfindung ist daher eigentlich ein Gemisch aus den sechs Grundempfindungen, doch sind darin immer nur einige von den Grundempfindungen deutlich, die andern unter der Schwelle. Die Deutlichkeit, mit welcher die eine oder die andere der Grundempfindungen sich in der Gesammtempfindung zeigt, hängt von dem Verhältniss ab, in welchem die Stärke des, dieser Empfindung correlaten Processes zur Stärke der fünf übrigen steht. Ist z. B. der schwarze Process sehr stark im Vergleich zu allen andern, so tritt die schwarze

Empfindung mit besonderer Deutlichkeit hervor, wobei die fünf übrigen so undeutlich werden können, dass sie nicht mehr einzeln wahrnehmbar oder, wie man zu sagen pflegt, unter der Schwelle sind. Wir nennen dann die Gesammtempfindung schwarz. Sind z. B. die beiden Grundempfindungen Grün und Blau besonders deutlich, so nennen wir die Empfindung grünblau u. s. w.

Wenn das Sehorgan längere Zeit vor jedem äusseren Reize geschützt war, so haben wir eine halb helle oder weissliche, halb dunkle oder schwärzliche Empfindung, welche ich als neutrales Grau bezeichne, während die übrigen vier Grundempfindungen nicht deutlich sind. Hieraus folgt, dass der schwarze und weisse Process unter diesen Umständen die stärksten, die vier andern relativ schwach und daher unter der Schwelle sind. Weisses oder, wie ich es nennen will, neutral gemischtes Licht fördert, wenn es auf die Netzhaut fällt, nur die weisse Empfindung des Sehorgans an der entsprechenden Stelle des Sehfeldes, farbiges homogenes oder gemischtes Licht aber fördert neben der weissen Empfindung auch zugleich eine oder zwei von den vier übrigen, farbigen Grundempfindungen, so dass dieselben mehr oder weniger deutlich werden, und vor den übrigen gleichzeitigen Empfindungen hervortreten. Doch gibt es kein Lichtgemisch, welches neben dem Weiss mehr als zwei farbige Grundempfindungen zugleich über die Schwelle heben könnte. Ein Licht z. B. welches Roth fördert, kann zwar zugleich auch Blau oder Gelb fördern, nie aber Grün, und eben so wenig Gelb und Blau zugleich. So oft Roth über die Schwelle gerückt wird, bleibt Grün unter der Schwelle und umgekehrt, und ein analoges Verhältniss besteht zwischen Gelb und Blau. Es können daher höchstens vier von den sechs Grundempfindungen gleichzeitig in einer Gesichtsempfindung merklich sein, nämlich zwei farbige Grundempfindungen und neben ihnen Weiss und Schwarz.

§. 2. Von den optischen Valenzen des homogenen und des gemischten Lichtes.

Alle im Sonnenspectrum sichtbaren Strahlen fördern die weisse Empfindung; da sich aber zu dieser weissen Empfindung allenthalben farbige Empfindung gesellt, so kann das Weiss nur als mehr oder minder deutliche Beimischung zu den Spectralfarben

erscheinen. Am deutlichsten ist das Weiss im spectralen Gelb und Gelbgrün; in dieser Gegend des Spectrums sind die Spectralfarben am weisslichsten und daher verhältnissmässig wenig gesättigt. Das äusserste Roth und Violett sind ebenfalls wenig gesättigt, aber aus einem ganz anderen Grunde. Hier tritt die schwache rothe oder violette Empfindung gegenüber der deutlicheren, durch den Contrast verstärkten Schwarzempfindung mehr und mehr zurück.

Das Vermögen der Lichtstrahlen, die weisse Empfindung zu fördern, will ich die *weisse Valenz* der Lichtstrahlen nennen. Die Grösse dieser Valenz ist offenbar von zwei Factoren abhängig: erstens von der objectiven Intensität oder lebendigen Kraft, mit welcher die Strahlen verschiedener Wellenlänge bis zur empfindlichen Netzhautschicht gelangen, und zweitens von dem, was wir die specifische weisse Erregbarkeit des Sehorgans gegenüber den Strahlen verschiedener Wellenlänge nennen, d. i. das Vermögen dieses Organs, unter dem Einflusse jener Strahlen die Weissempfindung deutlicher werden lassen.

Soweit unsere Kenntnisse über diesen Punkt reichen, müssen wir annehmen, dass die Strahlenarten von verschiedener Wellenlänge, auch wenn sie mit gleicher lebendiger Kraft bis zur erregbaren Substanz vordrängen, doch in derselben verschieden starke weisse Erregungen hervorrufen würden, weil die weisse Erregbarkeit nicht gegenüber allen Strahlenarten gleich gross ist. Da wir aber die lebendige Kraft der verschiedenen Strahlenarten nicht kennen, so begnügen wir uns damit, festzustellen, dass die *wirkliche* weisse Valenz für die, der Gegend des Gelb ungefähr entsprechenden Strahlen am grössten ist, und dass von dieser Stelle aus die weisse Valenz der einzelnen Spectrallichter nach beiden Seiten hin abnimmt.

Ausser der weissen Valenz, welche allen Lichtstrahlen gemeinsam ist, kommen nun den einzelnen Strahlenarten verschiedene farbige Valenzen zu. Alle Strahlen vom äussersten Roth oder vom *Anfange* des Spectrums bis zu jenem im Tone reinen Grün, welches eine Grundfarbe ist und welches wir das Urgrün [1]) nennen wollen, haben eine gelbe, alle Strahlen vom Urgrün bis zum violetten

---

1) Ich entlehne diesen Ausdruck von Preyer, welcher jedoch damit die Helmholtz'sche Grundfarbe Grün bezeichnet hat.

Ende des Spectrums eine blaue Valenz. Demnach theilen wir das Spectrum in eine *gelbwerthige* und eine *blauwerthige* Hälfte, wenn auch beide nicht gleich lang erscheinen. Am Anfange des Spectrums ist die gelbe Empfindung so schwach, dass sie gegenüber der deutlicheren rothen unter der Schwelle bleibt; ebenso tritt sie in der Nähe des Urgrün wieder mehr und mehr hinter der grünen Empfindung zurück. Nur in einem schmalen Streifen erscheint uns das tonreine Gelb oder das Urgelb, welches der Grundfarbe entspricht. Analoges gilt vom Urblau, welches nach dem Urgrün hin immer mehr gegenüber der grünen Empfindung zurücktritt, nach dem Ende des Spectrums hin aber sich mehr und mehr mit rother Empfindung mischt.

Das Urgelb theilt die gelbwerthige Hälfte des Spectrums wieder in zwei Unterabschnitte, welche wir als *erstes* und *zweites* Viertel des Spectrums bezeichnen wollen. Im ersten Viertel ist das Gelb mehr oder minder deutlich mit Roth, im zweiten Viertel aber mit Grün vermischt. Das erste Viertel des Spectrums ist also nicht bloss gelbwerthig, sondern auch rothwerthig, und das zweite hat neben seiner Gelbwerthigkeit auch Grünwerthigkeit. Wir nennen deshalb das erste Viertel des Spectrums auch den *roth-gelbwerthigen*, das zweite Viertel den *gelb-grünwerthigen* Abschnitt des Spectrums.

Das Urblau theilt analog die blauwerthige Hälfte des Spectrums in zwei Abschnitte, welche das dritte und vierte Viertel des Spectrums heissen sollen. Das dritte Viertel zeigt ausser dem Blau auch Grün, das vierte ausser dem Blau auch Roth; ersteres kann deshalb als der *grün-blauwerthige*, letzteres als der *blau-rothwerthige* Abschnitt des Spectrums bezeichnet werden. Das zweite und dritte Viertel haben das Grün gemeinsam und bilden zusammen den *grünwerthigen Abschnitt* des Spectrums. Das erste und vierte Viertel haben das Roth gemeinsam und heissen deshalb auch die beiden *rothwerthigen* Abschnitte des Spectrums.

Hiernach ergibt sich folgendes: Die Strahlen des ersten Viertels haben weisse, rothe und gelbe Valenz, die dem Urgelb entsprechenden Strahlen nur weisse und gelbe; die Strahlen des zweiten Viertels haben weisse, gelbe und grüne Valenz, die dem Urgrün entsprechenden nur weisse und grüne; die Strahlen des dritten Viertels haben weisse, grüne und blaue, die dem Urblau

entsprechenden nur weisse und blaue; die Strahlen des vierten Viertels endlich haben weisse, blaue und rothe Valenz.

Es gibt also kein homogenes Licht, welches neben der weissen nur rothe Valenz hätte und welches die Empfindung des tonreinen Roth oder des Urroth erzeugen könnte. Da jedoch im äussersten Roth des Spectrums das Gelb fast ganz unter die Schwelle tritt, so können wir sagen, dass der Farbenton des äussersten Roth des Spectrums nahezu der des Urroth ist. Freilich ist dies Roth besonders wegen der starken Zumischung von Schwarz sehr wenig gesättigt und daher sehr dunkel.

Wir haben gesehen, dass die Strahlen, welche ungefähr dem Gelb des Spectrums entsprechen, die grösste weisse Valenz haben, und wir werden uns fragen müssen, welche Strahlen im Spectrum die grösste rothe, gelbe, grüne oder blaue Valenz haben. Denn dass z. B. nicht alle Strahlen des grünen Abschnittes gleich starke grüne Valenz haben, geht schon daraus hervor, dass die grüne Empfindung in der Gegend des Urgelb und Urblau ganz verschwindet.

Man könnte meinen, dass die Strahlen von grösster grüner Valenz der urgrünen Stelle des Spectrums entsprechen; indessen wäre dies voreilig. Wir wissen nur, dass diese Strahlen keine gelbe und keine blaue Valenz haben, und dass deshalb hier das Grün ganz ohne Beimischung von Gelb oder Blau hervortreten kann. Dies schliesst aber nicht aus, dass die Strahlen grösster grüner Valenz an einer etwas anderen Stelle des grünen Abschnittes gelegen sind, und dass es Strahlen sind, denen zugleich auch eine gelbe oder blaue Valenz zukommt. Ebensowenig wissen wir, welchen Stellen des Spectrums die Strahlen grösster gelber, blauer oder rother Valenz entsprechen.

Für die Theorie der Farbenblindheit wäre es von besonderem Werthe, die drei Stellen des Spectrums genau zu kennen, welche den drei Urfarben Gelb, Grün und Blau entsprechen, und insbesondere zu wissen, ob diese Lage im Spectrum individuelle Verschiedenheiten zeigt, so dass z. B. die dem Urgrün entsprechenden Strahlen für verschiedene Personen nicht ganz dieselbe Wellenlänge hätten. Diese den drei Urfarben entsprechenden Stellen sind theoretisch genommen lineare Streifen von unmessbar geringer Breite. Ihre genaue Bestimmung hat grosse Schwierigkeiten, ins-

besondere weil die Farbenstimmung des Auges wegen der wechselnden Farbe des Tageslichtes eine verschiedene ist, und weil Contrastwirkungen im Spectrum schwer auszuschliessen sind. Die Stelle des tonreinen Grün, welche uns in Hinblick auf das Folgende am meisten interessirt, ist wohl am Besten bei starker Lichtintensität zu bestimmen. Je grösser nämlich die letztere wird, desto mehr tritt im Spectrum die grüne und rothe Empfindung hinter der gelben und blauen zurück, und das Grün zieht sich gleichsam mehr und mehr nach der Stelle des Urgrün zusammen. Bringt man im Oculare des Spectroskops eine Blendung mit sehr schmalem Spalt an und lässt die einzelnen Theile des Grün darin erscheinen, so bemerkt man leicht, dass alles Grün zwischen den Linien E und b, welches Helmholtz als reines Grün bezeichnet, noch ins Gelbe sticht und mit steigender Intensität immer gelblicher wird. Umgekehrt wird ein bläuliches Grün mit steigender Lichtintensität immer blauer. Die Strahlen aber, welche genau dem Urgrün entsprechen und also nur grüne Valenz haben, dürften selbst bei stärkster Intensität weder blaue noch gelbe Empfindung erwecken und könnten höchstens weiss erscheinen, wenn ihre Intensität so gross wird, dass die starke von ihnen erregte weisse Empfindung die grüne Empfindung ganz übertönt. Man muss also einzelne schmale Streifen des Grün auf ihre Farbenänderung bei steigender Lichtintensität untersuchen. Derjenige Streifen, welcher dabei weder deutlich gelblich noch bläulich wird, enthält die Linie des Urgrün. Ich habe auf diese Weise gefunden, dass die fragliche Stelle für mich noch über die Linie b hinausliegt, in einem Theile des Spectrums also, welchen Helmholtz schon als blaugrün bezeichnet. Die Stelle des Urgelb und Urblau sucht man besser in einem lichtschwachen Spectrum, weil in einem solchen die gelbe und blaue Empfindung gegenüber der rothen und grünen mehr zurücktritt, und letztere beide Farben das Gelb und das Blau gleichsam auf einen engeren Raum zusammendrängen. Das Gelb und Blau sind dabei freilich von sehr geringer Sättigung, ersteres hellgrau, letzteres dunkelgrau nuancirt. Ob die Stellen des Spectrums, welche den genannten drei Urfarben entsprechen, für alle Farbentüchtigen dieselbe und für eine und dieselbe Person eine absolut unveränderliche Lage haben, und scheinbare Lageränderungen derselben nur auf verschiedene Farbenstimmungen des Auges

oder irgendwelche andere Fehlerquellen zurückzuführen sind, muss vorerst dahingestellt bleiben. Da wir noch nichts Sicheres über die Art und Weise wissen, in welcher die Aetherschwingungen auf die nervöse Substanz der Netzhaut wirken, und die Annahme von Zwischengliedern zwischen Aetherschwingung und Nervenerregung nahe liegt, so lassen sich kleine Verschiebungen der fraglichen Stelle des Spectrums wohl denken.

Es ist vorgekommen, dass man das Roth des Spectrums, welches Helmholtz als eine Grundfarbe bezeichnet, insbesondere dasjenige, welches er zu Mischungen verwandte und welches nahe der Linie C liegt, mit dem von mir als Urfarbe bezeichneten Roth verwechselt hat. Das äusserste Roth des Spectrums, welches allerdings dem Urroth sehr nahe steht, ist insbesondere zu spectralen Farbenmischungen nicht gut zu brauchen, weil es zu schwach ist. Das übrige Spectralroth aber, und insbesondere das in der Nähe der Linie C gelegene Roth ist offenbar gelblich. Ebenso muss ich betonen, dass das Grün zwischen den Linien E und b in einem Spectrum von mässiger Helligkeit zwar den Eindruck eines reinen Grün macht, weil die darin enthaltene gelbe Empfindung fast unter der Schwelle bleibt; dass aber die entsprechenden Strahlen doch noch eine gelbe Valenz haben, welche freilich erst bei grösserer Intensität der Strahlen sich durch ein Gelblichwerden des Grün verräth.

Zwei homogene Lichter des Spectrums von verschiedener Wellenlänge, welche beide z. B. eine gelbe, aber verschieden grosse Valenz haben, können auf gleichgrosse gelbe Valenz gebracht werden, wenn man z. B. die Intensität desjenigen Lichtes, welches zunächst die schwächere Valenz hat, entsprechend verstärkt; sie werden dann betreffs der gelben Empfindung, die sie erzeugen, *äquivalent*. Ich schreibe also zwei homogenen Lichtern verschiedener Wellenlänge gelbe *Aequivalenz* dann zu, wenn beide gleich stark die gelbe Empfindung fördern. Dabei kann das eine Licht weiss und grün, das andere nebenbei weiss und roth wirken, und diese weissen, grünen oder rothen Valenzen können eine beliebige Grösse haben.

Mischt man ein beliebiges homogenes Licht von gelber und weisser Valenz im passenden Verhältniss mit Licht von blauer und weisser Valenz, so heben die gelbe und blaue Valenz sich gegen-

seitig auf, und es entsteht weder blaue noch gelbe Empfindung; die weissen Valenzen aber, welche beiden Lichtarten zukommen, summiren sich in ihrer Wirkung. Hätten beide Lichter nebenbei auch grüne Valenzen, so würden diese sich ebenfalls summiren, und die resultirende Empfindung also ein weissliches Urgrün sein. Zwei homogene Lichter nun, von welchen das eine ebenso stark gelb (oder roth) wirkt, wie das Andere blau (oder grün), so dass beide Valenzen sich aufheben, nenne ich *gegenfarbig äquivalent*. So kann ich z. B. homogenes rothgelbes Licht mit homogenem grüngelben Lichte in dem Verhältniss mischen, dass sich ein weissliches Urgelb ergibt: diesenfalls sind die beiden gemischten Lichter von gegenfarbiger und zwar roth-grüner Aequivalenz. Dass sie daneben noch weisse und gelbe Valenzen haben, ändert nichts an dieser ihrer roth-grünen Aequivalenz.

Der Begriff der Valenz und Aequivalenz ist deshalb von besonderer Bedeutung, weil er nicht bloss auf homogenes, sondern auch auf gemischtes Licht anwendbar ist. Wenn in einem Strahlgemische gelbwirkende Strahlen verschiedener Wellenlänge enthalten sind, so werden sie alle zusammen eine gelbe Erregung von bestimmter Grösse hervorrufen, und das Strahlgemisch wird also eine bestimmte, sozusagen summarische gelbe Valenz haben. Ein zweites, ganz anders gemischtes Strahlgemenge wird offenbar dieselbe gelbe Gesammtvalenz haben können. Dann sind beide Gemenge von gelber Aequivalenz oder, allgemein gesagt, *gleichfarbig äquivalent*.

Ebenso können zwei Strahlgemische von *gegenfarbiger Aequivalenz* sein. Nehmen wir z. B. ein rein gelbwirkendes gemischtes Licht von bestimmter gelber Gesammtvalenz, so lässt sich ein rein blau wirkendes gemischtes Licht finden, welches mit dem ersten gemengt nur weiss wirkt. Zwei solche Lichter, welche jedes für sich farbig, zusammen aber weiss wirken, haben zwar gleich grosse, aber entgegengesetzte Valenzen, sind gegenfarbig äquivalent und heben sich also z. B. in Bezug auf ihre blaue oder gelbe Valenz gegenseitig auf, während sich ihre beiderseitigen weissen Valenzen summiren.

Zwei Strahlgemische, welche roth-grün äquivalent sind, daneben aber noch gelbe Valenzen haben, so dass das eine z. B. rothgelbe, das andere grün-gelbe Empfindung erzeugt, werden zu-

sammengemischt nur gelbe Empfindung geben; wäre aber die rothe Valenz des einen Gemisches etwas grösser oder kleiner, als die grüne des andern, so würde das aus beiden resultirende Gelb entsprechend ins Rothe oder ins Grüne stechen müssen.

Nimmt man homogenes Licht von demselben Farbentone, welchen ein gegebenes Strahlgemisch zeigt, gibt ihm solche Intensität, dass es genau gleich grosse farbige Valenz hat, wie das Strahlgemisch, und setzt ihm ferner neutrales d. i. weisses Licht von solcher Intensität zu, dass hierdurch seine weisse Valenz gleich der weissen Valenz jenes Strahlgemisches ist, so erscheinen beide Lichter, das ursprünglich gegebene und das nachträglich zusammengesetzte ganz gleich. Man kann sich also eine gegebene Pigmentfarbe ersetzt denken durch homogenes Licht von demselben Farbentone, dem eine bestimmte Menge weissen Lichtes zugesetzt ist. Nur Pigmente von einem nicht im Spectrum vertretenen Farbentone erfordern hiezu zwei homogene Lichter.

Demnach gelten für die Mischung von zwei zusammengesetzten Lichtern oder von Strahlgemischen ganz dieselben Gesetze, wie für die Mischung homogener Lichter, und diese Gesetze beherrschen ebensowohl die Farbenmischung auf dem Farbenkreisel als die Mischung von Spectralfarben.

Es ist nicht nothwendig, dass zwei homogene (oder zwei gemischte) Lichter, welche gegenfarbig äquivalent sind, uns auch genau gegenfarbig erscheinen. Suchen wir z. B. zu einem Grün, welches uns weder ins Blaue noch ins Gelbe zu stechen scheint, ein Roth, welches mit jenem Grün gemischt Grau oder Weiss gibt, so braucht dies Roth uns nicht lediglich roth zu erscheinen, sondern kann für uns vielleicht ins Blaue stechen. Dies hat wohl seinen Grund theils darin, dass die allgemeine Beleuchtung nicht wirklich farblos und die Netzhaut nicht genau neutral gestimmt ist, theils darin, dass kleine Zumischungen einer Farbe zu einer andern stark vortretenden sehr verschieden leicht gesehen werden, je nachdem noch ausserdem die weisse oder schwarze Empfindung mehr oder minder energisch in dem Empfindungsgemisch enthalten ist. Man müsste einerseits bei genau derselben Beleuchtung be-
big lange untersuchen, andererseits der Beleuchtung beliebige
bige Valenzen geben können, um über alle die hier in Betracht
mmenden kleinen Abweichungen sichern Aufschluss zu gewinnen.

Das Tageslicht ist sehr variabel zusammengesetzt, und theils deshalb, theils weil man seine farbigen Valenzen nicht beliebig ändern kann, zu derartigen Untersuchungen nur bedingungsweise brauchbar.

II. Die Farbenblindheit.

§. 3. Allgemeine Bemerkungen.

Störungen des Farbensinns sind in sehr verschiedener Weise denkbar. Erstens wäre möglich, dass wegen anomaler Absorption in den brechenden Medien gewisse Strahlenarten gar nicht oder nur abnorm geschwächt bis zur lichtempfindlichen Netzhautschichte vordringen, welchenfalls dieselben gar keine oder nur schwache Empfindungen erzeugen könnten, und die verschiedenen Strahlgemische anders empfunden werden würden, als vom normalen Auge. Zweitens wäre denkbar, dass gewisse Mittelglieder, durch welche die Aetherschwingungen erst zu einem Reize für die nervöse Substanz werden, abnorm fungiren oder theilweise fehlen. Drittens könnte der Fehler in der nervösen Substanz selbst, sei es der Netzhaut oder des Hirns liegen, derart dass die Substanz jener Erregungen, welche der farbigen Empfindung entsprechen, entweder gar nicht, oder nur in geringerem Maasse fähig wäre.

Alle bei gewöhnlicher Lichtstärke farbigen Strahlen oder Strahlgemische erscheinen uns, wie schon Fechner und Helmholtz zeigten, bei sehr grosser Lichtstärke weiss. Chromatische Amblyopie oder wirkliche Farbenblindheit könnte also auch darauf beruhen, dass sich das Sehorgan des Kranken gegenüber mittlen Lichtstärken schon so verhält, wie das farbentüchtige Auge gegenüber sehr hohen Intensitäten. Bei längerer Fixirung eines farbigen Objectes erlischt auch für den Normalsichtigen die Farbenempfindung, und das Object wird grau oder weiss; das chromatisch-amblyopische Auge könnte sich schon bei sehr kurzer Betrachtung farbiger Objecte ebenso verhalten.

Die Theorie der Gegenfarben gibt über dies alles keine Aufschlüsse. Was aber mit Bestimmtheit aus ihr folgt, ist dieses: Ein Sehorgan, welches keinerlei rothe Empfindung hat, kann auch keine grüne haben, und umgekehrt; eines, das keinerlei gelbe Empfindung hat, kann auch keinerlei blaue haben. Für e

farbige sondern nur weisse Valenz, und alle seine Gesichtsempfindungen sind nur aus der weissen und schwarzen Empfindung zusammengesetzt. Ob es sich dabei um ein absolutes Unvermögen des Sehorgans zur Erzeugung der, den farbigen Empfindungen entsprechenden Processe handelt, oder ob letztere nur so schwach sind, dass die zugehörigen Empfindungen stets unter der Schwelle bleiben, ist praktisch ohne Bedeutung.

Wenn die totale Farbenblindheit wirklich ganz rein wäre, und sich keinerlei Abnormität der weissen Valenzen damit verbände, so müsste das davon betroffene Auge nach unsrer Theorie normale Lichtempfindlichkeit, und das Spectrum für dasselbe nahezu dieselbe Länge haben, wie für das normale Auge. Die hellste Stelle des Spectrums aber müsste annähernd da liegen, wo sie für das normale Auge ist, nämlich in der Nähe des Urgelb.

Es ist bis jetzt kein solcher Fall genauer bekannt, wie wir ihn hier theoretisch angenommen haben. Ausserordentlich nahe aber steht einem solchen der kürzlich von Becker[1]) veröffentlichte und eingehender untersuchte Fall von einseitiger „totaler" Farbenblindheit. Das linke farbenblinde Auge sah mit einer einzigen sogleich zu erwähnenden Ausnahme Alles farblos, und verwechselte somit alle Farben; das rechte hatte normalen Farbensinn. Am rothen Ende reichte das Spectrum für das farbenblinde und für das gesunde Auge der Patientin soweit wie für irgend ein farbentüchtiges Auge, am andern Ende schien das Spectrum für das farbenblinde Auge ein klein wenig verkürzt zu sein. Die grösste Helligkeit lag für das rechte gesunde Auge etwas rechts von der Natriumlinie, für das linke Auge fast genau in der Natriumlinie. Dieser Befund stimmt vollständig mit dem überein, was von der Theorie der Gegenfarben gefordert wird. Dass das Auge übrigens nicht absolut farbenblind war, geht daraus hervor, dass demselben Braun als farbig, d. h. als Braun erschien. Ein Missverständniss hierüber wird dadurch ausgeschlossen, dass das andere Auge einen vollkommenen Farbensinn hatte, und die Patientin also wusste, was unter Braun zu verstehen sei. Es ist daher anzunehmen, dass sie wirklich die braune Empfindung mittels des farbenblinden Auges hatte, höchst wahrscheinlich aber

1) Arch. f. Ophthalm. Bd. XXV., II. Abth. 1879. S. 205.

— wie ich ergänzend hinzufügen darf, weil Becker darüber nichts bemerkt — viel weniger gesättigt, als mit dem gesunden Auge. Streng genommen handelt es sich also hier um einen Fall von vollkommener Rothgrünblindheit, combinirt mit nahezu vollständiger Blaugelbblindheit.

Nach der Theorie von Helmholtz fehlen dem total Farbenblinden zwei der hypothetischen drei Faserarten; welche Art ihm übriggeblieben ist, muss das Spectrum lehren. Je nachdem die hellste Stelle desselben im Roth, Grün oder Violett (beziehungsweise Blau) liegt, ist die roth-, die grün- oder die violettempfindende Faserart als allein vorhanden anzunehmen. Gesetztenfalls die grünempfindenden Fasern wären die allein vorhandenen, so müsste ein solches total farbenblindes Auge Alles grün sehen; was für uns am Hellsten ist, wäre für jenes Auge am Grünsten, und die hellste Stelle des Spectrums müsste im Grün zwischen den Linien E und b liegen. Wären die rothempfindenden Fasern die übriggebliebenen, so müsste Alles roth erscheinen, die hellste Stelle des Spectrums im Roth liegen und das Spectrum am violetten Ende erheblich verkürzt sein. Wäre endlich die violette (oder blaue) Faserart erhalten, so müsste die hellste Stelle des Spectrums im Violett (oder Blau) liegen und das Spectrum am rothen Ende stark verkürzt sein. Weiss oder Grau müssen nach Helmholtz für einen solchen Farbenblinden unmögliche Empfindungen sein, ebenso alle farbigen Empfindungen mit Ausnahme einer einzigen Grundfarbe in ihren verschiedenen „Intensitätsgraden", d. h. ihren Schattirungen nach dem Schwarz hin.

Nichts von Alledem hat sich in dem Becker'schen Falle gezeigt, und selten haben die Thatsachen in so handgreiflichem Widerspruche zu einer Theorie gestanden, wie hier. Das farbenblinde Auge sah weder Alles roth, noch grün, noch violett, sondern farblos; das Spectrum war an keiner Seite stark verkürzt; die hellste Stelle lag weder im Roth, noch im Grün, noch im Violett, sondern im Gelb. Wenn ein *doppel*seitig total Farbenblinder angibt, dass er Alles nur weiss, grau oder schwarz sieht, so kann die Theorie von Helmholtz mit Recht dies daraus erklären, dass der Farbenblinde jene Worte für andere Empfindungen gebrauche, als wir, da er von unserer Farbenempfindung keine Vorstellung haben kann. Diese Erklärung ist unmöglich, wenn, wie im vor-

liegenden Falle, der Farbenblinde alle Farben aus eigener Erfahrung kennt.

Uebrigens hatte die Untersuchung von erworbener Farbenblindheit und der Nachweis, dass die Netzhautperipherie farbenblind ist, längst die Irrigkeit der Helmholtz'schen Auffassung dargethan. Denn hierbei kann man sich auch darauf verlassen, dass nicht dieselben Worte für andere Empfindungen gebraucht werden, als für diejenigen, welche man allgemein darunter versteht. Dieser Umstand hat Veranlassung gegeben, den Versuch einer Modification der Helmholtz'schen Theorie zu machen, den man jedoch fast als einen Selbstmord der Theorie bezeichnen könnte.

Die Dreifarbentheorie fusst auf der Theorie der specifischen Energien und wurde immer als eine der schönsten Blüthen dieser Theorie angesehen. Es werden drei Arten von Nervenfasern angenommen, in deren Natur es begründet ist, dass sie auf die Reizung durch jede beliebige Strahlenart in einer ganz besondern, nur ihnen eigenthümlichen, kurzum specifischen Weise reagiren. Dieselben Lichtstrahlen, welche durch die eine Faserart die rothe Empfindung erzeugen, rufen durch die andere Faserart grüne, durch die dritte violette (oder blaue) Empfindung hervor. Wenn alle drei Faserarten des Auges gegenüber einer und derselben Strahlenart ganz dieselbe Erregbarkeit besässen, so müsste jedes beliebige homogene Licht weiss erscheinen, weil alle drei Faserarten immer gleich stark erregt würden, und hieraus nach Helmholtz die weisse Empfindung resultiren soll. Da nun dem Farbentüchtigen jedes homogene Licht farbig erscheint, so würde die Annahme dreier Faserarten von verschiedener specifischer Energie zur Erklärung der Thatsachen völlig unbrauchbar sein, wenn man nicht weiter annehmen wollte, dass die verschiedenen Faserarten gegenüber einer und derselben Strahlenart verschiedene, in ihrer besonderen Natur begründete, kurzum specifische Erregbarkeit besitzen. *Diese Annahme verschiedener specifischer Erregbarkeit der drei Faserarten gegenüber jeder einzelnen Strahlenart ist ein Kernpunkt der Theorie von Helmholtz.* Indem z. B. die gelbgrünen Strahlen die grünempfindenden Fasern relativ stark, die rothempfindenden schwächer und die violettempfindenden nur sehr wenig erregen, entsteht nach Helmholtz die gelbgrüne Empfindung. Ohne die Annahme dieser specifischen Erregbarkeiten verliert die Theorie

jeden Sinn. An und für sich hat sie überhaupt nichts Einladendes. Dass die rothempfindenden Fasern, wenn sie gereizt werden, rothe, die grünempfindenden grüne, die violettempfindenden violette Empfindung erzeugen, ist allerdings nach der Theorie der specifischen Energien ganz verständlich; wie aber nun die weisse, die gelbe, die blaue Empfindung entsteht, darüber gibt die Theorie nicht den mindesten Aufschluss. Denn noch Niemand hat eingesehen, warum die gelbe Empfindung entsteht, wenn roth- und grünempfindende Fasern gleich stark erregt werden, oder warum die blaue Empfindung entsteht, wenn die grün- und violettempfindenden Fasern gleich stark erregt werden, oder endlich, warum die weisse Empfindung durch gleichstarke Erregung aller drei Faserarten erzeugt wird. Diese Empfindungen haben mit den specifischen Energien der drei Faserarten, welche nur dem Roth, Grün und Violett entsprechen sollen, gar nichts zu thun. Denn wenn es die specifische Energie der einen Faserart ist, roth zu empfinden, die der anderen, grün zu empfinden, wie kommen wir nun plötzlich dazu, gelb zu empfinden, wenn diese beiden specifischen Energien gleichzeitig und gleichstark in Wirksamkeit treten? Die Empfindungen Gelb oder Blau haben doch gewiss dasselbe Recht auf eine specifische Energie wie roth oder violett? Ebenso gut könnte man sagen, es gäbe sauer empfindende und süss empfindende Nervenfasern, wenn aber beide gleichzeitig und gleichstark erregt würden, so bekämen wir die Empfindung bitter.[1]) Sehr sinnreich erscheint mir das Alles nicht, und jedenfalls wird man mir zugeben, dass die ganze Theorie von vornherein nichts Ansprechendes hat, und dass uns also nur ihre sonstigen Leistungen mit ihr versöhnen können. Leistungsfähig aber wird die Theorie, wie gesagt, überhaupt erst durch die Annahme der verschiedenen specifischen Erregbarkeit

---

1) Gegen die Theorie der Gegenfarben lässt sich ein analoger Einwand nicht erheben, denn wenn man z. B. sagen wollte, Violett verdiene doch mit demselben Rechte eine Grundfarbe genannt zu werden, wie Blau oder Roth, so lässt sich antworten, dass Jedem das Violett zugleich dem Blau und Roth verwandt oder ähnlich erscheint, dass er gleichsam beide Farben darin zugleich sieht, und dass er es deshalb unbedenklich als Blau-Roth oder Roth-Blau bezeichnet, wie man eine Speise, welche zugleich süss und sauer schmeckt, sauersüss nennt. Reines Gelb dagegen wird Niemand als Roth-Grün oder Grün-Roth bezeichnen, ebensowenig reines Blau als Violett-Grün oder Grün-Violett.



der drei Faserarten gegenüber einer und derselben Strahlenart. Mit Hülfe dieser Annahme und, wie ich gezeigt habe, gelegentlichen psychologischen Hilfshypothesen ad hoc konnte Helmholtz in der That die seinerzeit bekannten Thatsachen zu einem grossen Theile erklären.

Für die Farbenblindheit reicht aber, wie wir sehen, die Theorie sammt allen psychologischen Hilfshypothesen nicht aus. Was hat man also gethan, um die physiologische und pathologische Farbenblindheit zu erklären? Man hat die specifische Erregbarkeit der drei Faserarten, durch deren Annahme die ganze Theorie von Helmholtz überhaupt erst möglich wird, als für solche Fälle nicht existirend angenommen. Die totale Farbenblindheit wird nun daraus erklärt, dass zwar sowohl die roth- als die grün- und violettempfindenden Fasern oder Energien im farbenblinden Auge ganz ebenso vorhanden sind, wie im farbentüchtigen Auge, dass aber alle drei Faserarten durch jede beliebige Strahlenart immer gleich stark erregt werden, so dass also jedes beliebige Licht nur die weisse Empfindung erzeugen kann. Die drei Curven, durch welche Helmholtz die Erregbarkeitsverhältnisse der einzelnen Faserarten gegenüber den verschiedenen Strahlenarten dargestellt hat, sollen also hier congruent sein, und da die hellste Stelle des Spectrums keinem der Gipfel der drei Helmholtz'schen Curven entspricht, so hat man kurzweg die Gipfel dahin verschoben, wo man sie eben braucht, nämlich in's Gelb, das thatsächlich der hellsten Stelle entspricht. [1])

Also der total Farbenblinde soll zwar alle drei Faserarten sammt ihren specifischen Energien besitzen, auch soll die Erregbarkeit selbst in allen drei Faserarten keineswegs ernstlich gelitten haben, sondern nur die *Verhältnisse* der Erregbarkeit sollen derart verschoben sein, dass sie nun in allen drei Faserarten identisch sind. Der total Farbenblinde soll zwar rothempfindende, grünempfindende und violettempfindende Fasern besitzen, auch sollen diese in einem Falle, wie der Becker'sche ist, ebenso stark

1) Ueber verschiedene derartige Versuche einer Erklärung der Farbenblindheit aus der Young-Helmholtz'schen Theorie vergl. insbesondere *Fick*, Arbeiten aus dem physiolog. Laboratorium zu Würzburg. 1873. S. 213. *Leber*, klin. Monatsh. für Augenheilk. 1873. S. 467. *Raehlmann*, Archiv für Ophthalm. XXII. 1. S. 29. 1876. *v. Brücke* Sitzungsber. d. Wiener Akademie. LXXX. Bd. III. Abth. S. 18. 1879.

erregbar sein, wie die des normalen Auges, aber Farbenempfindung soll er gleichwohl nicht haben.

Man darf eine Theorie mit Hilfshypothesen unterstützen, wenn dieselben die Grundlagen der Theorie nicht erschüttern; aber man darf nicht eine Hilfshypothese machen, die der wesentlichen Voraussetzung der ganzen Theorie widerspricht. Dies thut man aber, wenn man die Theorie von Helmholtz dadurch modificirt, dass man für gewisse Fälle die verschiedene specifische Erregbarkeit der drei Faserarten gegenüber den einzelnen Strahlenarten leugnet, durch deren Annahme doch die ganze Theorie erst möglich wurde. Denn an und für sich und losgelöst von der Voraussetzung der verschiedenen Erregbarkeit wäre die Annahme von drei Faserarten ohne jede Berechtigung.

Man mag nun hierüber meiner Ansicht sein oder nicht, so ist doch soviel klar, dass die totale Farbenblindheit, bei welcher Alles farblos gesehen wird, an sich Niemanden auf den Gedanken bringen könnte, ein solcher Farbenblinder besitze drei mit verschiedenen Energien begabte Faserarten in seiner Netzhaut, deren eine Alles roth, die andere Alles grün, die dritte Alles violett empfindet. Vielmehr wird jeder, der überhaupt specifische Energien gelten lässt, zu der Annahme gedrängt, dass ein solches farbenblindes Auge nur diejenige specifische Energie besitzt, welche der Empfindung des Weiss (beziehungsweise des Schwarz) entspricht und dass die den farbigen Empfindungen entsprechenden Energien ihm fehlen. Wenn also nicht anderweitige Erfahrungen die Dreifarbentheorie stützen können, die totale Farbenblindheit kann es gewiss nicht. Mir ist übrigens, beiläufig gesagt, auch keine einzige Gesichtsempfindung des farbentüchtigen Auges bekannt, welche sich, wenn man die psychologischen Hilfshypothesen ausschliesst, genügend aus der Dreifarbentheorie erklären liesse. Doch das gehört nicht hieher.

Die Dreifarbentheorie, wie sie Helmholtz entwickelt hat, kann also die totale Farbenblindheit, wie wir sehen, nicht erklären. Die eben erörterte Hilfshypothese dagegen vermag allerdings den Widerspruch zu lösen, in welchen hier die Theorie mit den Thatsachen geräth. Aber diese Art der Lösung bedeutet im Grunde ein Aufgeben der Dreifarbentheorie und ist bereits ein Uebergang zur Theorie der Gegenfarben. Denn ob man sagt, der total Farben-

blinde besitzt nur eine solche Sehsubstanz, welche auf jede beliebige Strahlenart nur durch weisse Empfindung reagirt, oder ob man drei Faserarten annimmt, die sich alle drei in jeder Beziehung ganz gleich verhalten, auf jede einzelne Strahlenart unter sich ganz gleich reagiren und zusammen nur die weisse Empfindung auslösen: dies kommt im Wesentlichen auf dasselbe hinaus.

§. 5. *Die Rothgrünblindheit.*

Denken wir uns die dem Spectrum des farbentüchtigen Auges beigemengte rothe und grüne Empfindung weg, so ergibt sich ein Spectrum, wie es der Rothgrünblinde sehen müsste, falls abgesehen von der rothen und grünen Empfindung sein Sehorgan auf die verschiedenen Lichtarten genau eben so reagiren würde, wie das normale, und also alle verschiedenen Strahlenarten dieselben gelben, blauen und weissen Valenzen hätte, wie für das Auge des Farbentüchtigen. Ein solcher Farbenblinder würde die ganze erste Hälfte des Spectrums als tonreines Gelb, die ganze zweite als tonreines Blau sehen, selbstverständlich aber an verschiedenen Stellen mit sehr verschiedener Beimischung von Weiss, also sehr verschieden nuancirt und gesättigt. Vor der Stelle, welche für das normale Auge dem Urgrün entspricht, müsste für den Farbenblinden das Gelb hinter der farblosen Lichtempfindung allmählich ganz zurück- und jenseits dieser Stelle dafür das Blau mehr und mehr hervortreten. Ein solcher Farbenblinder würde also nicht etwa für die vom normalen Auge rein grün empfundenen Strahlenarten wirklich blind sein, sondern er würde von denselben nur eine farblose Lichtempfindung erhalten, und anderseits würden ihm nach dem Anfange des Spectrums hin die Strahlen des rothen Spectraltheiles [illegible] sichtbar sein, als die von denselben erweckte Gelb- und [illegible]mpfindung noch stark genug ist, um über die Schwelle zu [illegible]en.

Das Spectrum des Rothgrünblinden zerfällt also in eine erste [illegible]be und eine zweite blaue Hälfte. Da sich ihm alle verschiedenen Lichter der gelben Hälfte nur durch verschiedene Nuancirung, d. h. durch einen verschiedenen Zusatz von Weiss, beziehungsw. Schwarz, nicht aber [illegible]n Farbenton unterscheiden, so wird man jede zwei Arten [illegible]ichtes, welche derselben Spectralhälfte des Farben-

blinden angehören, für ihn gleich machen können, wenn man der einen oder andern die erforderliche Menge weissen Lichtes zusetzt und die Intensität beider Lichter entsprechend regelt. Ebenso wird man auf dem Farbenkreisel jede zwei Farben, welche in Betreff des Farbentones einer und derselben Spectralhälfte des Farbenblinden angehören und ihm daher beide gelb oder beide blau erscheinen, für sein Auge gleich machen können, wenn man je nach Erforderniss der einen von beiden weiss oder schwarz, oder weiss und schwarz, oder endlich der einen weiss und der anderen schwarz zusetzt, kurzum, wenn man beiden Farben für den Farbenblinden dieselbe Nuance gibt. Da endlich für den Rothgrünblinden jede beliebige Strahlenart seiner gelben Spectralhälfte ausser der weissen nur eine gelbe, jede beliebige Strahlenart der andern, blauen Hälfte ausser der weissen nur eine blaue Valenz hat, so wird man für ihn durch Mischung jeder beliebigen Strahlenart der einen mit jeder beliebigen Strahlenart der andern Spectralhälfte eine graue oder weisse Empfindung erzeugen können, wenn man die beiden Strahlenarten in solchem Intensitätsverhältniss mischt, dass sie gegenfarbig äquivalent sind. Für den Rothgrünblinden muss also jedes beliebige homogene Licht seiner einen Spectralhälfte „complementär“ zu jedem beliebigen homogenen Lichte der andern Hälfte sein. Ebenso muss man für ihn auf dem Farbenkreisel aus je zwei beliebigen Farben, welche nach ihrem Tone verschiedenen Hälften seines Spectrums angehören, Grau oder Weiss mischen können.

Dies sind die nächstliegenden Consequenzen der Theorie der Gegenfarben, falls für den Rothgrünblinden die weissen, gelben und blauen Valenzen aller Strahlenarten die nämlichen sind, wie für das farbentüchtige Auge. Aber auch wenn die letztere Bedingung nicht genau erfüllt ist, müssen sich jene Folgerungen der Theorie an jedem Rothgrünblinden bewähren, wenn dieselbe richtig ist. Dabei können verschiedene Rothgrünblinde sich *im Uebrigen* verschieden verhalten, was denn auch thatsächlich der Fall ist und Veranlassung gegeben hat, die hieher gehörigen Farbenblinden in zwei Klassen zu scheiden, welche die Anhänger der Theorie von Helmholtz als Rothblinde und Grünblinde bezeichnen. Ich habe Farbenblinde beider Klassen untersucht, und die oben auseinandergesetzten Consequenzen der Theorie der Gegenfarben ausnahmslos bewährt gefunden.

Zur exacten Untersuchung sind selbstverständlich Wollproben, farbige Pulver oder die Probetafeln der verschiedenen Autoren ganz ungenügend, wenn dieselben auch für praktische Zwecke in den meisten Fällen gute Dienste leisten. Ich habe die mir zugänglichen Fälle hauptsächlich am Spectrum und mittels des Farbenkreisels untersucht; Mischungen von Spectralfarben habe ich bis jetzt an Farbenblinden nicht vornehmen können. Zur Untersuchung wählte ich nur sehr intelligente und gewissenhafte Farbenblinde. Ich hatte das Glück, einige solche zu finden, welche mit grösster Ausdauer und regem Interesse die nöthigen Beobachtungen anstellten.

Die farblose Stelle des Spectrums der Rothgrünblinden liegt bekanntlich zwischen den Linien b und F. Zur Bestimmung derselben wird der bewegliche Spalt im Ocular des Spectroscops so schmal gemacht, dass nur ein scheinbar 2—3^{mm} breiter Streifen des Spectrums sichtbar ist. Zunächst stellt man den Streifen z. B. auf Blau ein und verschiebt ihn so lange nach dem Grün hin, bis der Farbenblinde angibt, dass das Blau verschwindet und das Gelb beginnt; dann geht man umgekehrt von Gelb oder Gelbgrün aus und verschiebt den Spalt nach dem Blau hin. Hat man in mehreren derartigen, stets durch längere Pausen unterbrochenen Versuchen theils im lichtschwachen, theils im lichtstärkeren Spectrum die farblose oder neutrale Stelle annähernd bestimmt, so stellt man das nächste Mal den Spalt von vornherein auf diese Stelle ein und fragt den Untersuchten nach der Farbe des Spaltes. Wiederholt man dies öfter, so bekommt man ziemlich genauen Aufschluss über den Ort der neutralen Stelle. Dieselbe ist bekanntlich nicht für alle Rothgrünblinden genau dieselbe, sondern liegt bald mehr nach der Linie b, bald mehr nach F hin. Es ist, wie schon erwähnt wurde, bis jetzt nicht untersucht, ob solche Lageverschiedenheiten der neutralen Stelle des blaugelben Sonderspectrums nur bei Farbenblinden vorkommen, oder auch bei farbentüchtigen Augen. Sie müssten sich bei letzteren sehr leicht der Beobachtung entziehen, könnten sich aber insbesondere dadurch verrathen, dass der Eine rein grün sieht, was dem andern bläulichgrün oder gelblichgrün erscheint.

Vom Orte der neutralen Stelle im Spectrum hängt die Lage des ganzen blaugelben Spectrums ab. Je weiter jene Stelle nach dem Blau hin liegt, desto weiter ist auch der Anfang des gelben

Spectrums in derselben Richtung verschoben und dasselbe beginnt erst bei Strahlen kleinerer Wellenlänge, als wie sie den Strahlen des äussersten Roth entspricht. Die Strahlen grösster Wellenlänge haben dann für den Rothgrünblinden gar keine oder nur eine untermerkliche gelbe Valenz. Da nun für die Rothgrünblinden diese Strahlen auch keine rothe Valenz haben und die weisse Valenz derselben schon für den Farbentüchtigen klein ist, so müsste einem solchen Rothgrünblinden das Spectrum am rothen Ende verkürzt sein, auch wenn die weissen Valenzen der dem rothen Spectralende entsprechenden Strahlen für ihn dieselben wären, wie für das normale Auge. Doch scheint letzteres nicht der Fall zu sein, sobald die neutrale Stelle des Spectrums erheblich nach F hin liegt. Ich behalte mir vor, die Verhältnisse des farblosen Sonderspectrums der Farbenblinden ausführlich zu erörtern; hier habe ich mir nur die Aufgabe gestellt, zu zeigen, dass jeder Rothblinde auch grünblind ist und umgekehrt.

Liegt die neutrale Stelle näher der Linie b, oder läge sie darüber hinaus nach E hin, so werden alle Strahlen des ersten Spectralviertels für den Rothgrünblinden ungefähr dieselbe oder gar noch grössere gelbe Valenz haben können, als für das farbentüchtige Auge; diesenfalls liegt kein Anlass zu einer Verkürzung des Spectrums am rothen Ende vor, ja es könnte dasselbe sogar verlängert sein, besonders wenn auch die weissen Valenzen dieses Spectraltheils hier für den Farbenblinden grösser wären, als für den Farbentüchtigen.

Ist die neutrale Stelle bestimmt, so weiss man, dass jedes Licht grösserer Wellenlänge dem Farbenblinden gelb, jedes kleinerer Wellenlänge ihm blau erscheint. Zwischen je zwei homogenen Lichtern derselben Spectralhälfte muss sich also für den Rothgrünblinden eine Gleichung herstellen lassen, wenn man demjenigen Lichte, welches ihm minder gesättigt erscheint, gemischtes Licht von nur weisser Valenz zusetzt.

Die Richtigkeit dieser theoretischen Folgerungen ist schon durch Versuche erwiesen worden, welche v. Kries und Küster [1]) an Rothgrünblinden angestellt haben. Spectrales Gelb und Grün aus

1) Ueber angeborne Farbenblindhheit. Arch. f. Anat. u. Physiol. 1879. Physiol. Abtheil. S. 513.

tensiver Beleuchtung wurde es sogar orangefarben, und wenn ich das Sonnenbildchen mittels einer Sammellinse (mit Diaphragma) darauf warf, erschien das Bildchen gelb. Diesem Roth musste ich mehr oder weniger Ultramarinblau zusetzen, um für den Rothgrünblinden eine Gleichung mit Schwarz und Weiss herzustellen. Farbenblinde, deren Spectrum am rothen Ende nicht verkürzt oder gar verlängert ist, bedurften hierzu relativ viel, Farbenblinde mit verkürztem Spectrum, für welche die neutrale Stelle des Spectrums weiter nach der Linie F hinliegt, relativ wenig Blau. Selbstverständlich wird sich für jeden Rothgrünblinden rothes Papier finden oder herstellen lassen, welches ohne Zusatz von Blau oder Gelb eine Gleichung mit Schwarz und Weiss gestattet, also mit einem bestimmten Grau verwechselt wird. Dieses Papier wird aber für einen andern Rothgrünblinden, welcher die neutrale Stelle im Spectrum weiter nach dem Blau hin sieht, noch einen Zusatz von Gelb, dagegen für einen, der die neutrale Stelle weiter nach dem Grün hin sieht, noch einen Zusatz von Blau erfordern, um eine Gleichung mit Grau möglich zu machen. Das Roth nun, welches man auf diese Weise erhält, und welches also der Rothgrünblinde mit einem bestimmten Grau verwechselt, sticht für den Farbentüchtigen bald mehr ins Blaue, bald mehr ins Gelbe. Bläulich („Purpur“) erscheint es um so mehr, je weiter dem betreffenden Rothgrünblinden die neutrale Stelle des Spectrums nach dem Grün, gelblich (spectralroth) um so mehr, je weiter ihm dieselbe nach dem Blau hin liegt.

Das Grau, welches ein Farbenblinder, dem das Spectrum am rothen Ende verkürzt ist, mit Roth verwechselt, erscheint überdies dem Farbentüchtigen bekanntlich viel dunkler als dieses Roth.

Zwischen dem Roth und dem Grün, welches der Farbenblinde mit je einem bestimmten Grau verwechselt, lässt sich nun für ihn ebenfalls eine Gleichung herstellen, wenn man der einen oder andern Farbe die nöthige Menge Weiss oder Schwarz zusetzt. Für den Farbentüchtigen lässt sich aus beiden Farben Weiss mischen.

Stellt man das Roth und das Grün, welches einem bestimmten Rothgrünblinden farblos erscheint, und das er deshalb mit Grau verwechseln kann, auf dem Farbencirkel [1]) diametral gegen-

1) Vergl. §. 38 meiner Beiträge „zur Lehre vom Lichtsinne.“

über, so enthält die eine Hälfte des Cirkels alle jene Farbentöne, welche demselben Farbenblinden gelb, die andern alle, welche ihm blau erscheinen. Hat man nun zwei ganz beliebige farbige Papiere, so lässt sich bestimmen, ob beide dem Farbentone nach derselben oder verschiedenen Hälften dieses Farbencirkels angehören. Ersteren Falls wird man beide Farben für den Rothgrünblinden gleich machen können, wenn man dafür sorgt, dass beiderseits die farbige und die weisse Valenz des von der rotirenden Scheibe kommenden Lichtes gleich gross ist. Die Gleichheit der farbigen Valenz erreicht man durch ein entsprechendes Grössenverhältniss der beiden farbigen Sectoren, die Gleichheit der weissen Valenzen dadurch, dass man entweder auf der einen oder andern Scheibe Weiss oder Schwarz oder beides zusetzt. Im einfachsten Falle kommt man schon zum Ziele, wenn man nur der einen Farbe Weiss oder Schwarz oder beides zusetzt, während die andere volle 360° einnimmt; im andern Falle muss der einen Farbe Weiss, der andern Schwarz im passenden Verhältniss zugesetzt werden.

Ich habe auf diese Weise an verschiedenen Farbenblinden mit den verschiedensten farbigen Papieren experimentirt und stets eine Gleichung erhalten. Ob der Farbenblinde gewissenhaft und genau in seinen Angaben ist, erkennt man bei einiger Uebung sofort, insbesondere auch, wenn man Controlversuche macht.

Hat man dagegen zwei beliebige farbige Papiere, welche nicht derselben Hälfte des Farbencirkels angehören, so kann man aus diesen Farben für den Farbenblinden Grau mischen, wenn man auf der einen Scheibe den Sectoren der beiden Farben, auf der andern den Sectoren von Schwarz und Weiss das richtige Verhältniss gibt. Diese Art von Gleichungen lässt sich wesentlich leichter herstellen und wird auch dem Ungeübten bald gelingen.

Ich habe an vier Rothgrünblinden mit 10 verschiedenen Farben über 100 Gleichungen gewonnen und mich auf diese Weise überzeugt, dass die oben aus der Theorie der Gegenfarben gezogenen Folgerungen durchaus richtig sind. Es ist hiermit der Beweis geliefert, dass diese Farbenblinden nur zwei Farbentöne sehen. Dass dies Gelb und Blau ist, lässt sich freilich ebensowenig streng beweisen, als dass zwei Farbentüchtige z. B. gelbes Licht

mehr daran. Nimmt man als dritte Grundfarbe nicht Violett, sondern Blau, so gestalten sich die Verhältnisse für die Theorie ein klein wenig günstiger, aber die Widersprüche werden dadurch ebenso wenig gelöst.

Man ist, wie schon gesagt, von dieser Theorie zurückgekommen, weil sie insbesondere auch mit der physiologischen und der erworbenen Farbenblindheit in unlösbarem Widerspruche steht. Um aber doch die Dreifarbentheorie zu retten, hat man auch hier jenen Weg eingeschlagen, den ich bei Erörterung der totalen Farbenblindheit genügend charakterisirt zu haben glaube. Man hat nämlich angenommen, dass die „Grünblinden“ ebenfalls alle drei Faserarten besitzen, dass aber die Erregbarkeitscurven für die roth- und für die grünempfindenden Fasern ganz identisch geworden sind. Die dritte Faserart, welche nach dem Einen dem Violett, nach dem Andern dem Blau entspricht, soll dabei ihre normale Erregbarkeitscurve besitzen.

Sehen wir nun einmal ganz ab von der methodischen Unzulässigkeit der erörterten Hilfshypothese, so ergibt sich aus derselben für die „Grünblindheit“ folgendes: Jede beliebige Strahlenart würde die roth- und die grünempfindenden Fasern gleich stark erregen, und da gleichzeitige und gleichstarke Erregung dieser beiden Faserarten nach Helmholtz gelbe Empfindung gibt, so müssten alle Farben der einen Hälflte des Spectrums gelb, alle Farben der andern blau oder violett sein. An der Stelle des Spectrums, wo alle drei Faserarten gleichstark erregt werden, was durch die congruente Gestalt der rothen und der grünen Erregbarkeitscurve möglich wird, müsste die Empfindung Weiss entstehen. Da die Form der Erregbarkeitscurven bei dieser Hypothese ganz der Willkür überlassen bleibt, so kann man denselben immer eine solche Gestalt geben, dass die Stelle, wo alle drei Curven gleich hoch sind, so zu liegen kommt, dass sie derjenigen Stelle des Spectrums entspricht, die dem Farbenblinden wirklich farblos erscheint. Ebenso kann man die Gipfel der zwei congruenten Erregbarkeitscurven beliebig und also auch dahin verschieben, wo die Stelle grösster Helligkeit im Spectrum ist. Auf diese Weise lassen sich nun allerdings die Erscheinungen der „Grünblindheit“ mit der Dreifarbentheorie in Einklang bringen, denn man erreicht so endlich, dass alle Strahlenarten der einen Hälfte nur eine gelbe

und weisse, die der andern nur eine blaue (oder violette) und weisse Valenz haben, wie sich aus meiner Theorie von vornherein ergibt, sobald die rothen und grünen Valenzen ausfallen. Aber man bedenke, mit welchen Mitteln die Dreifarbentheorie zu diesem Ziele gelangt ist! Erstens hat sie ihre eigene Grundlage, nämlich die Annahme specifisch verschiedener Erregbarkeitsverhältnisse der drei Faserarten, hier insbesondere der roth- und der grünempfindenden aufgegeben; zweitens gibt sie den Erregbarkeitscurven eine Form, welche aus der Theorie gar nicht abzuleiten, sondern ganz ad hoc erfunden ist. Für den Vertreter der Theorie der Gegenfarben hat der Wegfall der rothen und grünen Valenzen bei einem Farbenblinden den vollen Werth eines Experimentes, welches die Natur selbst für ihn angestellt hat, und aus welchem er nun die wichtigsten Schlüsse für die Theorie der Lichtempfindungen des normalen Auges ziehen kann. Für die Dreifarbentheorie in ihrer neuen Form aber ist die Untersuchung der Farbenblinden absolut werthlos; denn man erhält dadurch keinerlei neue Aufschlüsse über die Form der Erregbarkeitscurven des normalen Auges, sondern die Farbenblindheit ist viel mehr für diese Theorie nur ein neues Problem, zu dessen Lösung auch ganz neue Hypothesen gemacht werden müssen.

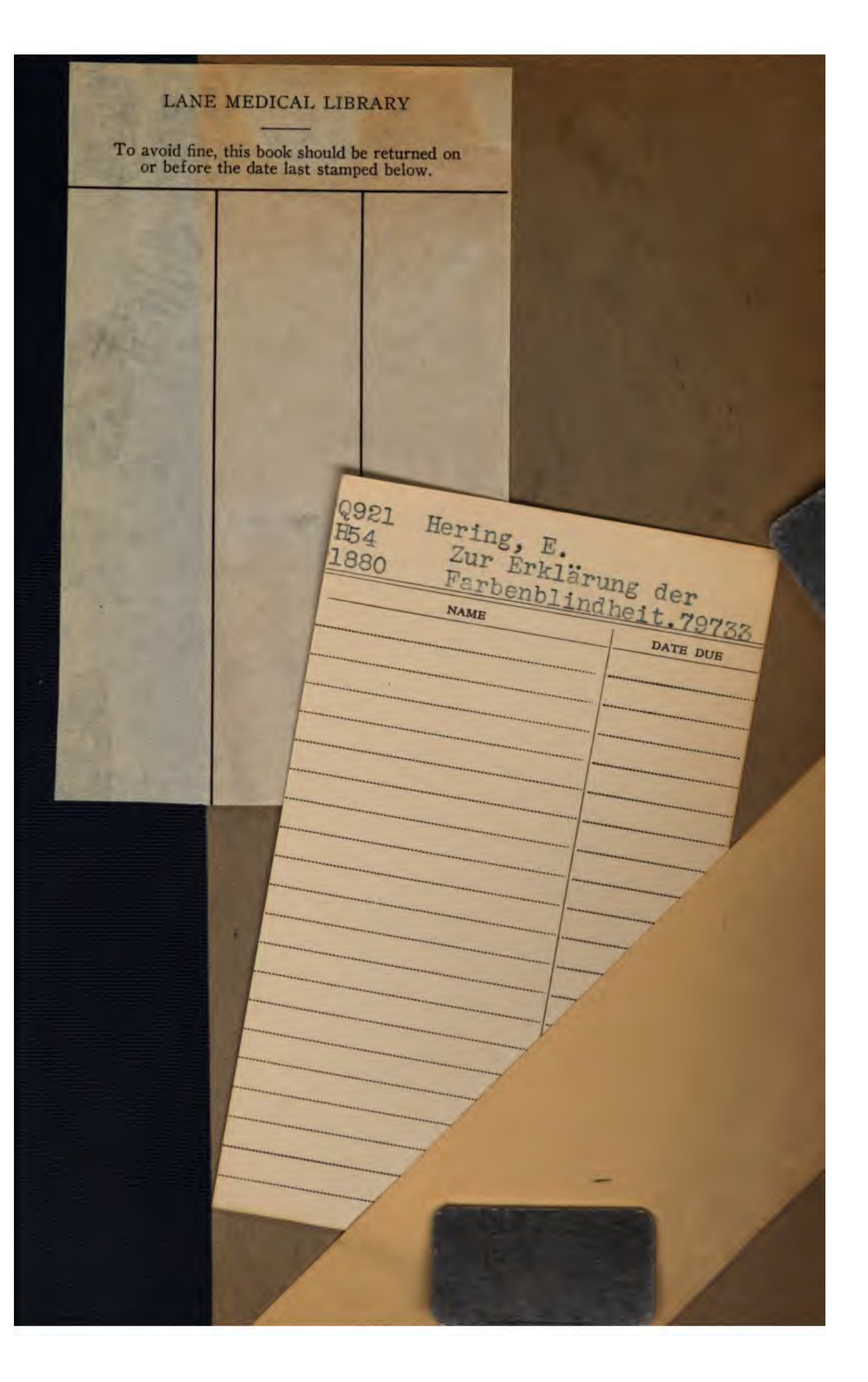
Auch hier wieder muss betont werden, dass in den Erscheinungen der Farbenblindheit an sich nicht der mindeste Anlass liegt, auf eine Theorie, wie die eben erörterte, zu verfallen. Denn wenn die Rothgrünblinden anerkannter Maassen nur zwei Farben sehen, nämlich Gelb und Blau (oder Violett), oder wie Donders mit Göthe und mit den Malern sagt, eine warme und eine kalte Farbe, so ist doch das einfachste anzunehmen, dass diese beiden Farben zwei specifischen Energien entsprechen, nicht aber drei. Wie paradox müsste Einem, der die Entwicklungsgeschichte der Dreifarbentheorie nicht kennt, oder gar dem Farbenblinden selbst die Behauptung vorkommen, dass zwar den blauen Empfindungen der einen Hälfte seines Spectrums eine bestimmte specifische Energie oder Faserart des Sehorgans entspreche, den gelben Empfindungen der andern Hälfte aber zwei specifische Energien oder Faserarten, nämlich eine grün- und eine rothempfindende Faserart. Indem die Dreifarbentheorie die beiden Erregbarkeitscurven der roth- und grünempfindenden Fasern congruent macht, setzt sie

thatsächlich an die Stelle der rothen und grünen specifischen Energie die gelbe, und die Behauptung, dass diese gelbe Energie eigentlich aus zweien, einer rothen und einer grünen zusammengesetzt sei, könnte dem, der von der Dreifarbentheorie sonst nichts wüsste, nur als ein Spiel des Witzes erscheinen.

Ganz analoge Betrachtungen, wie wir sie hier betreffs der „Grünblindheit“ angestellt haben, lassen sich betreffs der „Rothblindheit“ wiederholen. Die Unzulänglichkeit der Dreifarbentheorie ergibt sich dabei in ganz derselben Weise.

Man wolle also wenigstens die partielle Farbenblindheit nicht länger als eine Stütze der Theorie von Helmholtz anführen, für welche daraus vielmehr nur Verlegenheiten erwachsen sind. Wäre die Dreifarbentheorie den Physiologen nicht als ein ehrwürdiges Erbstück überliefert worden, sie würden aus der Farbenblindheit diese Theorie wahrlich nicht abstrahirt haben.

Druck von A. Haase, Prag.



LANE MEDICAL LIBRARY
To avoid fine, this book should be returned on or before the date last stamped below.
Q921
H54
1880
Hering, E.
Zur Erklärung der
Farbenblindheit.79733
NAME
DATE DUE

